

## **Підготовчі процеси збагачення**

---

УДК 622.74.913.1

**В.П. НАДУТЫЙ**, д-р техн. наук,

**В.Ф. ЯГНЮКОВ**, канд. техн. наук, **И.В. ЯГНЮКОВА**

(Украина, Днепропетровск, ИГТМ им. М.С. Полякова НАН Украины)

### **КРАТКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ВАЛКОВЫХ ВИБРАЦИОННЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ**

В производственной практике по переработке горной массы возникает множество нерешенных вопросов относительно классификации трудногροхотимого минерального сырья, склонного к налипанию на рабочих органах машин. Для того, чтобы приступить к решению данных вопросов и внести разумное предложение для начала необходимо исследовать предыдущий опыт использования существующих конструкций для такого типа сырья, выявить наиболее подходящие из них и предложить возможные пути развития таких конструкций для увеличения производительности работы классифицирующего оборудования.

Классификация видов гροхочения выполнена в [1].

Довольно таки подробный обзор конструкций гροхотов и просеивающих поверхностей приведен в монографии [2]. В нем, однако, недостаточно полно отражены конструкции, в которых используются разрежение под ситом и поличастотное возбуждение, что особенно важно при тонком и особо тонком гροхочении.

Результаты исследований классификации различной горной массы повышенной влажности представлены в работе [3]. Исследования проводились при переработке отсевов нерудных материалов карьерной добычи, бурого угля, коксовой мелочи после водяной бани, различных материалов на открытых складах при шихтоподготовке. Выполненные автором исследования интересны тем, что их целью являлась сравнительная оценка эффективности гροхочения влажных и липких материалов на вибрационном гροхоте с динамически активной рабочей поверхностью на основе резиновых ленточно-струнного сита РЛСС и на валковом классификаторе. Сравнимые гροхоты имели равные площади рабочих поверхностей. При этом виброгροхот был оборудован поочередно металлической сеткой и резиновым ситом РЛСС. Крупность разделения составляла 3,0 мм, размер просеивающей поверхности обоих типов гροхотов составлял 1,5×0,5 м. Влажность сыпучей массы варьировалась от 3,0 до 12,0%. Для чистоты эксперимента при классификации на обоих гροхотах использовалась одна и та же горная масса (по количеству, грансоставу и влажности). Испытания виброгροхота проводились при амплитуде колебаний короба 4,0 мм и частоте 16 Гц. Валковый классификатор испытывался при зазоре между валками 3,5 мм, их количестве, равном 20 шт., и скорости вращения 980 об/мин. Угол

наклона обоих грохотов составлял 8 градусов. Результаты исследований представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

Результаты сравнительных испытаний

Характеристика сыпучей горной массы	Влажность горной массы, %	Эффективность классификации, %		
		Вибрационный грохот		Валковый классификатор
		металлическая сетка	РЛСС	
1	2	3	4	5
Гранитный отсев с содержанием глины 15%	2			
	4	75	92-95	95
	8	60	78-80	84
	12	50	60	70
Мраморная крошка	4	80	94-95	95
	10	60	72	84
Доменный шлак	3	80	90-92	94
	6	64	80	90
	12	50	60	85
Угольный штыб	5	62	86	88
	10	52	70	78
Отсев доломита	5	50	82	88
	10	54	62	72
Отсев известняка	4	65	84	87
	8	51	62	70
Коксовая мелочь	4	62	86	95
	8	55	70	75
	12	50	60	70

Анализ результатов эксперимента показал, что при классификации сухой горной массы преимущество валковых грохотов по эффективности над вибрационным незначительно. С увеличением влажности показатели эффективности у валковых грохотов на 10-15% выше. Следует отметить, что с увеличением влажности сыпучего материала на вибрационном грохоте наблюдается окомкование мелких фракций или налипание мелких вокруг крупных с образованием гранул. Таким образом, нарушается технология классификации по крупности.

Отмечается высокая удельная производительность валковых классификаторов. Она связана с интенсивным взаимодействием вращающихся валков рабочего органа и классифицируемой горной массы, а также с высокой несущей способностью просеивающей поверхности в виде валков [3].

Таким образом, валковый классификатор является перспективным для разделения по крупности горной массы различного состава и влажности в условиях высоких удельных нагрузок.

Область использования валковых классификаторов определилась, в основном, горно-металлургической, химической и строительной промышленностями. Разнообразие перерабатываемого сырья, его физико-механических свойств,

объемов переработки, условий эксплуатации определило особенности технических условий при создании машин рассматриваемого типа. Имеющийся опыт их создания и эксплуатации указывает на перспективность и массовость использования в различных технологиях, на необходимость дальнейших исследований, связанных с совершенствованием кинематики, динамики, решения задач взаимодействия рабочего органа с разнообразной сыпучей и влажной массой различной крупности. Зарубежный и отечественный опыт подтверждает широкие возможности применения валковых классификаторов. Их динамическая уравновешенность, относительно низкие энерго- и металлоемкость при высокой удельной производительности определяют возросший интерес специалистов к совершенствованию и использованию этого класса машин. Перечисленные выше фирмы, организации, отдельные коллективы ученых и конструкторов являются неполным списком создателей валковых классификаторов существующего технического уровня. В настоящее время идет процесс накопления опыта создания определения зависимостей и закономерностей в узлах машин, при взаимодействии с перерабатываемой средой, аналитическое осмысливание и модельное представление работы как самой машины, так и синтеза системы "машина – перерабатываемая среда". Разработка адекватных модельных представлений невозможна без создания новой научной базы, ее развития. Поэтому исследование в рассматриваемой области создания валковых классификаторов является актуальным и перспективным. Разработанные на этой основе машины нового технического уровня увеличивают преимущественный потенциал по отношению к классификаторам других типов, применяемых в тяжелых условиях эксплуатации, особенно в условиях горно-металлургических и строительных предприятий.

В ГВУЗ "Национальный горный университет" (г. Днепропетровск) при создании перспективных рабочих поверхностей виброгрохотов изучалась возможность использования валковых грохотов в горной промышленности, обоснована возможность их применения для условий среднего и мелкого грохочения и разработано несколько конструкций валковых грохотов [4]. Из анализа работы валкового грохота при переработке бурого угля влажностью до 57% удельная производительность по классу 3 мм составила  $12 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$ , по классу 25 мм –  $18 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$ , по классу 50 мм –  $30 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$ . Эффективность грохочения при этом не превышала 90%. На основе анализа конструкций валковых грохотов и их эксплуатационных характеристик специалистами этого университета разработаны на уровне изобретений ряд новых конструкций валковых грохотов. В частности, ими предложено диски на валках выполнять в виде упругих торoidalных оболочек. С целью увеличения живого сечения грохота валки предложено изготавливать не сплошными цилиндрическими, а в виде установленных параллельно струн.

С участием специалистов Кировоградского института строительных машин (КИСМ) был спроектирован, изготовлен и испытан на Полтавском ГОКе валковый грохот [5]. Конструктивно он выполнен с поперечным расположением

ем валков в коробе грохота. Валки длиной 1 м обрезаются и в количестве 19 штук установлены параллельно. Каждый из них имеет индивидуальный мотор-редуктор. Испытания показали, что при разделении железной руды по граничному классу 20 мм валковый грохот успешно заменяет два вибрационных грохота ГИТ-51 площадью  $7,5 \text{ м}^2$  каждый, обеспечивая при этом эффективность грохочения до 90 %. Проведенные испытания показали перспективность применения валковых грохотов и возможность решения проблемы повышения эффективности разделения горной массы при одновременном повышении долговечности оборудования.

В начале 60-х годов серийный выпуск валковых грохотов начат машиностроительным заводом им. Пархоменко (г. Луганск). Это были две модификации с дисковыми валками различной конфигурации, которые обеспечивали классификацию по крупности 100 мм [6].

На Новокраматорском машиностроительном заводе (НКМЗ) серийно выпускаются грохоты валковые (дисковые) для рассеивания шихтовых материалов и кокса. При движении по грохоту коксовая мелочь проваливается в квадратные ячейки, образованные дисками, а более крупные куски кокса скатываются с наклонно установленного грохота.

Эти грохоты относятся к тяжелому типу и работают в сложных условиях эксплуатации металлургических предприятий.

Поиск технических решений по усовершенствованию валковых грохотов приводит к использованию вибрационного привода, позволяющего упрощать его трансмиссию, увеличивать амплитуду колебаний рабочих элементов за счет резонансных эффектов. Установка валков с эксцентриситетом относительно их продольной оси превращает валок в дебаланс, и независимо от системы привода или конструкции валков (дисковые или сплошные цилиндрические) при работе грохота возникают инерционные силы от валков со смещенным центром. Это имеет положительный эффект при грохочении, т. к. при вращении валков в одну сторону кроме циркуляции сыпучего материала над щелью между валками имеет место горизонтальное смещение слоев, что способствует процессу полойной сегрегации материала. Таким образом, очевидно, что использование эксцентрично расположенных валков и имеет положительный эффект при работе валкового грохота [4].

В работе [7] предложен новый способ грохочения, включающий загрузку исходного материала на верхнюю часть наклонно установленного сита из продольно расположенных по ходу перемещения материала вращающихся валков, классификацию материала и отдельный отвод надрешетного и подрешетного продуктов. При этом валкам сообщают вращение в одном направлении с увеличивающейся или уменьшающейся по ходу вращения скоростью или с одинаковой скоростью вращения каждого последующего валка относительно предыдущего.

В работах [8, 9] показано, что при тонком и особо тонком грохочении доминирующую роль играют силы поверхностного натяжения, действующие на

границе фаз полидисперсной среды. Для эффективного обезвоживания необходимо преодолеть эти силы, например, за счет разрежения под ситом или увеличения ускорения.

Однако увеличить ускорения не позволяет прочность корпуса грохота.

Представляется перспективным для увеличения ускорения создавать импульсное воздействие за счет циклически повторяющихся виброударов непосредственно по ситум или через промежуточный элемент и одновременно сосредоточить энергетику виброударного воздействия в более высоком частотном диапазоне.

Рассмотрим конструкции грохотов, позволяющие преодолевать капиллярные силы.

Фирмой Деррик для повышения эффективности обезвоживания предложено под просеивающей поверхностью создавать разрежение [10]. Грохоты фирмы Деррик работают эффективно до тех пор, пока вся просеивающая поверхность заполнена водой. Но как только на ней появляются обезвоженные участки, в толще материала возникают воздушные каналы, вентилятор начинает "тянуть" воздух и процесс обезвоживания резко ухудшается.

Для повышения ускорения, сообщаемого грохотимому материалу, фирмой "Ревум" предложен грохот с непосредственным возбуждением сита [11]. В грохоте фирмы "Ревум" при обезвоживании используют "одиночные удары" – режимы, когда материалу, находящемуся на просеивающей поверхности, сообщают импульс, обеспечивающий его отрыв и разрыхление. Следующий импульс наносится, когда материал возвращается обратно. Однако, как показала практика, этот же материал препятствует удалению воды с просеивающей поверхности, удерживаемой силами поверхностного натяжения, а также очистке ее от застрявших частиц, что снижает эффективность обезвоживания. Поэтому очистку просеивающей поверхности необходимо осуществлять на этапе полета материала. В грохоте фирмы "Ревум" эти вопросы не решены, т. к. энергии собственных колебаний просеивающей поверхности недостаточно для очистки ее от воды и частиц. Поэтому эффективность их невысока.

На уровне изобретения нами была разработана конструкция валкового вибрационного классификатора, которая позволила повысить эффективность и продуктивность классификации минерального сырья, были проведены лабораторные, промышленные испытания и внедрения на производственных участках.

Принципиальным отличием валкового вибрационного классификатора является отсутствие просеивающей поверхности в виде сетки, что характерно для всех вибрационных грохотов. Разделение сыпучей горной массы осуществляется между вращающимися в одну сторону параллельно установленными валками. Крупность разделения при классификации определяется размером щели между вращающимися валками.

Второй особенностью конструкции является отсутствие жесткой кинематической связи между вибровозбудителем и валками, которые представляют собой дебалансную массу, свободно вращающуюся вокруг оси между бортами

классификатора за счет инерционной силы вибровозбудителя, установленного в начале или в конце рамы машины, либо двух вибровозбудителей – с обоих концов рамы.

Третьей принципиальной особенностью конструкции является возможность менять межосевое расстояние между валками, что позволяет оперативно изменять класс разделения горной массы и использовать классификатор как в параллельном, так и в последовательном режиме классификации.

Валковый вибрационный классификатор сконструирован таким образом, что на его жесткой раме в горизонтальной плоскости между бортами параллельно расположены оси круглого поперечного сечения. На эти оси свободно надеты отрезки труб, которые играют роль валков. При этом внутренний диаметр труб превышает диаметр осей валков. При работе вибровозбудителя рама приходит в колебательное движение, а вместе с ней – оси валков и сами валки. Поскольку оси валков жестко связаны с рамой, то они совершают те же движения, что и рама. Но валки осуществляют более сложное движение по круговой или эллиптической траектории относительно индивидуального для каждого валка центра.

Проблемы, возникающие при переработке трудногροхотимого минерального сырья, обусловлены реологией связей, возникающих между частицами полидисперсного минерального сырья с повышенной влажностью и липкостью. Как правило, для трудногροхотимого минерального сырья эти связи порождают значительные силы взаимодействия между частицами минерального сырья [12].

Таким образом, при классификации трудногροхотимого минерального сырья с повышенной липкостью и влажностью возникает необходимость создания бóльших ускорений на рабочих органах машины для разрыва связей между частицами перерабатываемого материала. Поэтому для этого нами было разработано несколько предложений для повышения эффективности классификации трудногροхотимого минерального сырья с помощью создания дополнительных ускорений на рабочих органах этой машины.

Для эффективной классификации по крупности, силы воздействия должны превышать силы связей частиц полидисперсного минерального сырья, но для классификаторов существуют ограничения по уровню сил, реализуемых на их рабочих органах, связанных с конструктивными особенностями этого класса горных машин, такими как пределы прочности металлов, крепежных соединений и другими [13-15].

Поэтому разработка и создание конструкций классификаторов должны включать нестандартные решения, которые бы, во-первых, локализовали возникновение и действие этих сил только на рабочих органах этой машины и, во-вторых, сам рабочий орган, и только он, порождал бы эти силы воздействия на обрабатываемый сыпучий материал [10-12].

Исследования по применению виброударных импульсов для улучшения характеристик грохочения проводились и проводятся на сегодняшний день в ИГТМ НАН Украины [14, 18-20]. Для создания виброударных воздействий на

просеивающую поверхность используются различные нелинейные механические системы, в частности маятники, с различными законами и режимами их движения [21, 22]. Эти виброударные механические системы, как правило, располагаются в непосредственной близости от сит грохотов. Но ни одно из предложенных решений или устройств не предполагает использование циклически повторяющихся последовательностей пакетов трех и более виброударных импульсов для одновременного их распределения в пространстве и во времени. Наличие виброударных импульсов, меняющих более двух раз в пакете свое направление в пространстве или плоскости за один оборот дебалансного вала грохота, приводит к движению вектора перемещения точек просеивающей поверхности по замкнутой ломаной траектории. Очевидно, что справедливо и обратное утверждение, а именно: движение вектора перемещения, скорости по замкнутой  $n$ -ломаной траектории порождает  $n$ -виброударных импульсов за один оборот дебалансного вала.

Естественно, что при наличии  $n > 2$  распределенных в пространстве и времени за один оборот виброударных импульсов, приложенных к просеивающей поверхности, а, следовательно, и к частицам сыпучего материала, приводит к возникновению сил и моментов сил, способствующих деагломерации трудногрохотимой сыпучей горной массы и препятствующих застреванию трудных (иглообразных) частиц в просеивающей ячейке. В этом случае элементы поверхности ячейки  $n$  раз за период воздействуют на "трудную частицу" и создают не менее чем  $n$  разнонаправленных сил и моментов за один оборот дебалансного вала вибратора. Вероятность блокирования ячейки частицей уменьшается пропорционально количеству виброударных импульсов, величине их спектральной плотности, зависит от распределения их направлений в пространстве и свойств горной массы. Эта вероятность также снижается при наличии апериодической последовательности виброударных импульсов в пакете.

Для реализации пакетного режима разнонаправленных виброударных импульсов рассмотрим одно из устройств, позволяющее получать перемещение его точек по ломаной замкнутой траектории.

Для успешного применения грохотов с импульсным воздействием необходимо решить проблему синтеза для конкретного сырья оптимального спектра вибровоздействия, обеспечивающего максимальную эффективность классификации и обезвоживания при минимальных энергозатратах и максимальной долговечности. В условиях эксплуатации грохотов со значительными изменениями во времени грансостава и производительности по исходному продукту важно так же обеспечить самонастраивающийся режим возбуждения.

В настоящий момент главной задачей решения проблемы эффективности разделения горной массы является создание вибрационного грохота, в котором будут реализованы следующие характеристики: расширение спектра воздействия на перерабатываемый материал, ресурс работы грохота, возможность оперативного управления, повышение стабильности работы, автоматическое управление и, при этом, сохранение простоты конструкции.

Одно из предлагаемых решений предусматривает модернизацию ранее заявленной конструкции валкового вибрационного классификатора, описанный в [23], где представлен конструктив и динамическая схема рабочих органов классификатора. Совокупность же параллельно расположенных таких рабочих органов образует просеивающую поверхность классификатора, например валкового.

*Целью* модернизации является улучшение технологических параметров классификатора за счет создания виброударного режима движения вращающихся валков на основе кинематического взаимодействия гладкого валка с новой конструкцией его внутренней оси, имеющей, например, квадратное поперечное сечение.

Каждый рабочий орган этого классификатора функционирует за счет энергии исходных гармонических колебаний дебалансного вибровозбудителя, как нелинейный маятник с параметрическим возбуждением не в колебательном, а во вращательном режиме движения.

Важно отметить, что траектория движения всех точек рабочего органа представляет собой плоскую замкнутую ломаную линию с четырьмя точками перегиба [24]. Наличие точек перегиба перемещения рабочего органа свидетельствует о скачкообразном изменении во времени и направлении модуля его ускорения. То есть, по сути, рабочий орган, как элемент просеивающей поверхности классификатора, реализован как преобразователь гармонического колебания в последовательность разнонаправленных виброударных импульсов. Оценку процесса силового воздействия рабочих органов просеивающей поверхности на сыпучий материал удобно ввести по значениям линейно-зависящих от них виброускорений.

Таким образом, при обкатывании внешнего валка по квадратной оси возникают дополнительные ударные воздействия на самом рабочем органе валкового вибрационного классификатора, которые непосредственно передаются частицам обрабатываемого полидисперсного материала.

Качественный анализ виброускорений, развиваемых на просеивающей поверхности валкового виброударного классификатора, выполнен в [24]. Результаты теоретического исследования этого предложения свидетельствуют об увеличении ускорений, развиваемых на рабочих органах машины и способных разрушить вязкоупругие связи частиц трудногροхотимого минерального сырья. Таким образом, мы можем получить большие ускорения, воздействующие на перерабатываемый материал [24].

### Список литературы

1. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкция, материалы, опыт применения. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – 252 с.
2. Руденко Р.К., Шемаханов М.М. Обезвоживание и пылеулавливание. – М.: Недра, 1984. – 350 с.
3. Плахотнюк Е.И. Результаты исследований грохочения влажной и липкой горной



массы на валковом классификаторе // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 17-19.

4. Попов Г.Д., Тарасенко Е.А. Грохоты и просеивающие поверхности. Обзор конструкций, – Д.: Днепропетровский горный институт, 1989. – 34 с. – Деп. в УкрНИИТИ, № 1348-Ук.89.

5. Попов Г.А., Настоящий В.А. О возможности интенсификации процесса сортировки горной массы применением валковых грохотов // Техника и технология горного производства: Сб. тез. докл. н.-т. конф. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 1990. – С. 86.

6. Олевский В.А. Конструкции и расчеты грохотов. Справочное пособие. – М.: Металлургиздат, 1955. – 124 с.

7. Пат. 2028836 РФ, В 07В 1/16, 1/12. Способ грохочения / Н.В. Кузнецова, В.И. Воронцов, Б.В. Карпов (Россия). – №5002372/03; Заявл. 24.07.1991; Оpubл. 20.02.1995; Приоритет от 24.07.1991, Бюл. № 5. – 6 с.

8. Надутый В.П., Лапшин Е.С. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья, – Киев: Наук. думка, 2005. – 180 с.

9. Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на отделение жидкости при грохочении материала / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко, Л.Н. Прокопишини и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 71-74.

10. Пат. 20050011 US, B01D 37/00. Установка вибрационного механического сита (варианты), используемый в ней четырехходовой пневмораспределитель и способ просеивания шлама (варианты) / М.Д. Деррик, Р.Г. Деррик, Д.А. Муни, Н.К. Попеленский; Деррик копэруйшн. – № 10/167,995; Заявл. 12.06.02; Оpubл. 21.12.03, Бюл. ЕАПВ № 2. – 22 с.

11. Пат. 379611 US, МПК<sup>7</sup> B07В 1/34. Vibratory sifting machine with strikers [Электронный ресурс] / R. Krause; фирма Rhewum. – № 118413; Заявл. 24.02.71; Оpubл. 12.03.74. – Режим доступа: <http://www.google.com/patents>. – Загл. с экрана.

12. Надутый В.П., Калиниченко В.В. Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 135 с.

13. Надутый, В.П. Анализ зависимости виброускорений рабочих органов грохота от последовательности разнонаправленных механических импульсов / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків: ХПІ, 2014.

14. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Хмеленко И.П. Математическое моделирование виброударного движения сита грохота // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2009. – Вип. 1(53). – С. 36-39.

15. Борохович Д., Круш И., Ободан Ю. Опыт применения технологии Kroosh для просеивания нерудных сыпучих материалов // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2007. – Вип. 48. – С. 61-64.

16. Пат. 379611 US, МПК<sup>7</sup> B07В 1/34. Vibratory sifting machine with strikers [Электронный ресурс] / R. Krause; фирма Rhewum. – № 118413; Заявл. 24.02.71; Оpubл. 12.03.74. – Режим доступа: <http://www.google.com/patents>.

17. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Краснопер В.П. Определение динамических параметров грохота с виброударным возбуждением рассеивающей поверхности // Науковий вісник: Науч.-техн. журнал. – 1998. – Вып. 3. – С.73-75.

19. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Краснопер В.П. Особенности конструкции и обоснование расчетной схемы грохота с виброударным режимом возбуждения сита // Тез. докл. Междунар. конф. по динамике и прочности машин. – Тбилиси, 1999. – С. 72-73.

20. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Хмеленко И.П. Надутый, В.П. Анализ виброударного движения просеивающей поверхности грохота // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2009. – Вип. 2(54). – С. 69-72.

21. Пат. 2424067, Российская Федерация, МПК B07В1/40, B07В1/54. Двухмассный виб-

роударный грохот/ С.А Сизиков, В.С. Сизиков, А.П. Скрипилов и др. – № 2010111988/03. Заявл. 29.03.2010. Опубл. 20.07.2011.

22. Пат. 2478445, Российская Федерация, МПК В07В1/40, В07В1/46. Многочастотная ситовая сборка для кругового вибрационного сепаратора / И. Круш, Ю. Ободан. – № 2011137201/03. Заявл. 09.09.2011. Опубл. 10.04.2013.

23. Надутый В.П., Егурнов А.И., Ягнюкова И.В. Модернизация вибрационного валкового классификатора на основе использования виброударного режима // Вісник НТУ "ХПІ". – 2013. – № 57(1030), (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 89-96.

24. Надутый В.П., Ягнюков А.И., Ягнюкова И.В. Качественный анализ спектра виброускорений, формируемых рабочим органом классификатора с виброударными колебаниями // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Форум гірників – 2014", жовтень, 2014.– Д.: НГУ, С.146-150.

© Надутый В.П., Ягнюков, В.Ф., Ягнюкова И.В., 2016

*Надійшла до редколегії 02.03.2016 р.*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Франчуком*